

## パラメトリック誘導電動機に関する研究

著者	坂本 禎智
号	1027
発行年	1985
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/9763">http://hdl.handle.net/10097/9763</a>

氏 名	さか 坂	もと 本	よし 禎	のり 智
授 与 学 位	工	学	博	士
学位授与年月日	昭和 61 年 3 月 25 日			
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 1 項			
研究科，専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 電気及通信工学専攻			
学 位 論 文 題 目	パラメトリック誘導電動機に関する研究			
指 導 教 官	東北大学教授 村上 孝一			
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 村上 孝一      東北大学教授 穴山 武 東北大学教授 岩崎 俊一			

## 論 文 内 容 要 旨

### 第 1 章 緒 言

現在，誘導電動機は，家電機器，OA 機器，産業機器等に広く用いられている。この中で OA 機器のディスク・ドラム駆動用電動機や家電機器の多くに用いられている一般小形電動機では，保守の容易さ，価格の安さ，信頼性の高いことなどから主として単相誘導電動機が用いられている。しかしながら，この電動機は構造上，固定子巻線を納めるスロットを有し，そのため製作工程が複雑となり，価格の低減化に限界が存在する。

これに対して，パラメトリック発振利用のいわゆるパラメトリック電動機は，スロットがないために構造が極めて簡単であり，高速化及び価格の低減化が可能となる他，特性も良好であり，効率が最大で約 60% 程度のものが容易に試作できる。更に，既存の電動機ではみられない数多くの長所を有するために，その特徴，長所を生かした応用が提案されており，実用的にも有用な電動機と考えられている。従って本電動機の動作解析を行い，設計法を確立し，かつ実用化を目指すことは極めて意義のあることと思われる。

しかし本電動機は，動作原理上，パラメトリック発振の基礎となる磁気回路の交番磁束の最大値が飽和領域にあること，立体磁路構成に起因する磁束のふるまいが複雑であること，及び直交する二つの励磁磁路の磁束間に相互作用が存在することなどのために，これまでの電動機にはない多くの複雑な非線形動作が存在する。そのために，これまでは最も基本的な定常状態における動作に関

しても、その理論的解明は困難であった。更に、本電動機はパラメトリック発振を利用しているため、電動機固定子寸法、同調用コンデンサ容量及び励磁電圧等の値によってパラメトリック発振の不安定性による電動機の異常回転現象が生ずるなどの問題も存在する。従って、パラメトリック誘導電動機の設計法を確立し、かつその長所を生かし、実用化を図るためには、本電動機の動作機構を明らかにし、上記の諸問題を解決する必要がある。本研究はこのような目的のもとに、パラメトリック誘導電動機の動作解析を行ったものである。

## 第2章 パラメトリック誘導機の基本動作

本章においては、パラメトリック誘導電動機の基本動作について検討し、本電動機が変圧器と電動機の複合した特性を有する特殊な電気機械であること、及び電動機動作は非対称二相電動機として動作することなどを明らかにしている。また電動機実用上の利点を明確にし、更にパラメトリック発振の不安定性による電動機異常回転現象について詳述し、電動機設計に対する安定性解析の必要性について述べるなど、実用化のために克服しなければならない問題点を明らかにしている。

得られた主な結果をパラメトリック電動機の特徴と併せてまとめると次のように示すことができる。

- (1) 構造が極めて簡単であり、従って製作経費は安価である。
- (2) 構造簡単のため、種々の変形電動機を製作することができる。
- (3) 固定子にスロットがない。従ってスロットの存在に起因する磁界リップル及びその他の諸問題が生じない。
- (4) 励磁巻線が変圧器の場合のように型巻きすることができる。このため巻線経費が急減する。
- (5) 回転磁界がほとんど円形となるために、回転が円滑で騒音が少ない。
- (6) 共振側のコンデンサと並列に可変抵抗を挿入し、この値を変化させることにより速度制御が容易にできる。
- (7) 補助巻線をわずかに付加することにより、正転・逆転が容易である。
- (8) パラメトリック発振を利用しているために、励磁電圧が方形波交番電圧でも共振側は正弦波となり、回転は円滑に行われる。
- (9) 共振回路が故障し、短絡あるいは開路が生じて、単にパラメトリック発振が停止するのみであり、焼損その他の事故は発生しない。
- (10) パラメトリック誘導機は発電機として動作させることができ、回生制御を行わせることができる。
- (11) 電動機寸法及び電氣的諸条件により、正転・逆転及び間欠運転を自動的に行わせることができる。

## 第3章 パラメトリック誘導電動機の出力特性算定法

パラメトリック誘導電動機の動作解析を行い、設計法を確立するためには、電動機特性上、最も重要な出力特性の算定法を見いだす必要がある。本章においてはまず、励磁特性の非線形性を考慮

した不感帯電圧という新しい概念を導入し、従来の誘導電動機で使用されてきたT形等価回路を考察の出発点とするトルク－速度特性算定法を考察した。すなわちパラメトリック電動機においては、従来の電動機の固定子に相当する共通磁路が、ある程度飽和するまでは回転子に有効磁束が供給されがたく、この状態を経過した後に、従来の電動機と同様に磁束が回転子に供給されるという回転子有効磁束の非線形励磁特性が存在する。この非線形磁特性に基づいて新たに導入した不感帯電圧という値を考慮して、等価回路を用いたトルク－速度特性の算定を行った。等価回路は、電動機構造上、鉄心内部を通るもれ磁束が存在することから従来のT形等価回路にもれ磁束鉄損分抵抗を考慮して用いた。その結果、本手法を用いて得られたトルクの計算値はすべりの全領域にわたって実測値と良好な一致を示すこと及び対称二相条件下では入力特性の算定値もすべりの全領域にわたって実測値と良好な一致を示すことが明らかとなった。また、本手法は励磁電圧値、電動機寸法などの条件が変化しても、また多極機の場合にも適用できる手法であることが確かめられた。

次いで、これまでに検討した主な電動機の等価回路定数の値と電動機特性との関係について考察を行い、良好な特性を有する電動機を得るための有用な設計指針を得ることができた。

#### 第4章 パラメトリック誘導電動機の安定性

第2章において、パラメトリック誘導電動機の設計の際に、電動機固定子寸法、コンデンサ容量及び励磁電圧等の値によってパラメトリック発振の不安定性による電動機の異常回転現象が生ずることを明らかにした。安定な電動機を設計するためには、このような不安定現象の生ずる原因、不安定現象の動作機構及びその現象を避ける手段などについて検討する必要がある。本章はこのような目的のもとにパラメトリック誘導電動機の安定性について詳細な考察を行ったものである。すなわち、基本的なパラメトリック発振回路より導出した非線形微分方程式において、解として与えられる共振側磁束の波形が実験的事実より正弦波で近似できることから等価線形化法を用いて解析を行った。得られた解の振幅及び励磁側磁束に対する位相差に着目し、磁気回路の飽和曲線形状を与える式の係数、同調用コンデンサ容量及び励磁電圧の値などのパラメトリック発振の安定性を与える影響を詳細に検討することにより次の成果が得られた。実験で得られる動作の大部分が理論で説明できること及び不安定現象の生ずる原因には、負荷の大きさによって位相ずれが安定限界値を越える場合及び共振側電圧 $E_2$ の振幅が零になる場合が存在することが明らかになった。またその現象を避けるためには、使用する回転数の範囲以内で動作点が常に安定領域内に存在するように設計すべきであるが、そのための設計指針を与えることができた。

電動機設計の際には、パラメトリック発振の安定性及び電動機特性の両面から寸法及び回路のパラメータを決定する必要がある。本章の検討結果は主として発振の安定性について定性的評価を行ったものであるが、電動機特性面から設計した電動機について発振が不安定な場合に、その不安定になる原因の究明、不安定性の回避に十分役立つ有用な成果である。

#### 第5章 パラメトリック誘導電動機の設計法

本章においては、第3章、第4章で得た結論をもとに、良好な特性を有するパラメトリック電動

機を製作するための設計法について考察を行った。すなわち、各種寸法の電動機について入出力特性の比較検討を行い、良好な出力、効率を得るための電動機形状寸法の決定法を考案し、この電動機の動作点及び電氣的諸条件をトルク－速度特性の算定値を基本として求める方法について考察した。更にこの電動機が不安定な動作をする場合には第4章の結果を用いて修正し、実用に十分供し得るパラメトリック誘導電動機を製作する場合の設計手順について考察している。

本章で述べた設計法は、完成されたものではないが、パラメトリック電動機の設計法として初めて検討を行ったものであり、その検討結果は、今後パラメトリック電動機を実用する場合に役立つ極めて有用な成果と思われる。

## 第6章 パラメトリック発振を利用した各種電動機

パラメトリック電動機は構造が極めて簡単なために、パラメトリック発振を生じさせれば、移動磁界、回転磁界を容易に作ることができ、使用目的に応じた種々の変形パラメトリック電動機の製作が可能である。本章においてはパラメトリック発振を利用した各種電動機を製作し、その基本動作及び応用例について検討を行い、パラメトリック電動機の応用範囲拡大を目指した。その結果、高速化を目的として空気軸受を取り入れて製作した高速回転用パラメトリック電動機では80000rpmが実現でき、低速回転分野においては、4極及び6極の電動機製作に成功し、多極機の製作が可能であることを明らかにした。また、2個の回転子を有する二重直交磁路形パラメトリック電動機、円盤回転用パラメトリック電動機及び移動磁界を利用したリニアモータの試作、更には本論文で主に述べてきた誘導機に加えて、永久磁石回転子を用いた同期電動機の試作を行い、良好な特性の電動機を得ることができた。

本章で検討した各種パラメトリック電動機以外にも変形電動機の製作は可能であり、今後多種多様になりつつある産業界の要求に対応できるような、パラメトリック発振を利用した新しい機器を産み出すことは極めて有意義なことと考えている。

## 第7章 結 言

本研究により得られた結果を総括して記した。

## 審 査 結 果 の 要 旨

パラメトリック発振を利用して回転力を得る所謂パラメトリック誘導電動機は、固定子にスロットが無く構造が極めて簡単であり、回転磁界がほぼ円形のため回転時の振動、騒音が小さく、正転、逆転および回転速度の制御が容易であることなど、優れた特徴を有しているが、交番磁束の最大値が飽和領域にあること、立体磁路構成に起因する磁束のふるまいが複雑であることなどの理由により、その動作に関する理論的説明は十分ではなく、設計法も確立されていなかった。

本論文は、これらの諸問題を解決し、パラメトリック誘導電動機の実用化に資する目的をもって、特性算定法、動作時の安定不安定性および設計法などに関し、一連の研究を行ったものであり、全編7章よりなる。

第1章は緒言であり、本研究の背景と目的について述べている。

第2章では、パラメトリック誘導電動機の基本動作に関する詳細な検討結果を述べている。即ち、本電動機は非対称二相電動機として動作すること、および本電動機にはパラメトリック発振の不安定性に起因する電動機異常回転現象が存在することなど本電動機の特徴を述べると共に、実用化のために克服しなければならない事項についても列挙している。

第3章では、本電動機の特性算定法について述べている。即ち、従来の誘導電動機で使用しているT型等価回路を考察の基礎とし、これに励磁特性の非線形性を考慮した不感常電圧なる新しい概念を導入して特性を算定する方法を考案し、計算値と実測値は良好な一致を示すことを実証している。これは優れた知見である。

第4章では、パラメトリック電動機の動作時の安定、不安定について論じている。即ち、電動機動作を示す非線形微分方程式において実験的事実より解の形が正弦波で近似できることを見出し、等価線形化法を用いて動作解析を行い、実験で示される電動機の安定、不安定動作を理論的に説明できることを実証している。これらは設計に役立つ重要な成果である。

第5章では、パラメトリック誘導電動機の設計法について述べている。即ちこれまでに得られた解析結果に立脚し、安定な回転動作と良好な出力、効率の得られる電動機の形状、寸法を算定する設計法を確立している。

第6章では、パラメトリック発振を利用した各種電動機について述べている。

第7章は結論である。

以上要するに本論文は、パラメトリック発振利用の新形式の電動機について、その動作理論を解明し設計法を導いたものであり、電気工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。